5X

УДК 004.08:681.324

В.Г. Хорошевский, Д.С. Никитин
Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия
777666@ngs.ru

Расчет вектор-функции дохода и расхода для большемасштабных распределенных вычислительных систем*

Современный инструментарий высокопроизводительной обработки информации – это распределённые вычислительные системы (ВС), объединяющие большое число процессоров (более 1 000 000). Эксплуатация подобных систем неизбежно связана с финансовыми затратами. В данной работе рассмотрен континуальный подход к расчету технико-экономических показателей функционирования распределенных ВС (функций дохода и расходов) в стационарном и переходном режимах. Отличительными особенностями работы являются: введение коэффициента стоимости эксплуатации сети связей и учет времени реконфигурации структуры ВС после сбоев.

Одной из основных тенденций современной индустрии высокопроизводительной обработки информации является построение большемасштабных пространственно-распределенных вычислительных и GRID систем. В архитектурном плане распределенная вычислительная система (ВС) представляется как множество элементарных машин (ЭМ), взаимодействие между которыми осуществляется через коммуникационную среду [1], [2]. На данный момент существует большое количество распределенных ВС и требуется рассчитывать доходы и расходы в связи с эксплуатацией этих систем, примерами таких систем могут быть IBM BlueGene и Cray XT, количество ЭМ в данных системах может достигать сотен тысяч.

По своей природе распределенная ВС – стохастический объект, например, вследствие отказов ее компонентов. Нужно заметить, что процесс восстановления обнаруженных отказавших ЭМ предусматривает не ремонт машин, а обязательно реконфигурацию систем. При этом проверка работоспособности ВС и поиск отказавших машин выполняются соответственно средствами контроля и диагностики. Последние средства для краткости будем называть *контролёром* и *диагностом*. Реконфигурация системы заключается в программной настройке новой конфигурации с заданным числом n исправных ЭМ; она осуществляется *реконфигуратором*. Для создания новой конфигурации основной подсистемы могут быть использованы, в общем случае, машины из избыточности и/или резерва. Контролёр, диагност и реконфигуратор являются компонентами распределенной операционной системы (ОС). Эта композиция, по сути, является *виртуальным восстанавливающим устройством* (ВУ) для распределенной ВС; будем называть просто ВУ. В рамках сказанного можно говорить о виртуальном переключении исправных ЭМ и об интенсивности переключения v.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 07-07-00142, 08-08-00300, 09-07-00185) и Советом по грантам Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2121.2008.9).

Задачам расчета и оценки стоимости эксплуатации ВС посвящено множество работ как отечественных, так и зарубежных научных школ [3-6]. В области анализа технико-экономической эффективности функционирования большемасштабных вычислительных систем работают различные подразделения крупных мировых компаний и институтов, например компании IBM, Intel, Sun Microsystems. В качестве базового показателя для анализа по эксплуатации распределенных вычислительных систем используется TCO (total cost of ownership). TCO – западный термин, означающий по-русски суммарную (или полную) стоимость владения, то есть явные и скрытые издержки на владение тем или иным оборудованием. Впервые методика расчета TCO была предложена аналитической компанией Gartner Group в конце 1980-х годов как средство оценки расходной части информационных активов компании, включая прямые и косвенные расходы. Список категорий затрат при расчете TCO может варьироваться, но можно выделить основные: первоначальные затраты на систему, затраты на обновления аппаратного обеспечения системы, затраты на поддержку системы, затраты на обработку данных (зарплата), затраты на обработку данных (иные), затраты на учет труда (зарплата). Расчет TCO – это сложная и дорогостоящая процедура.

В данной работе рассматривается подход, не требующий значительных затрат, чтобы произвести экспресс-анализ ВС. Данный подход базируется на стохастических моделях, описывающих процесс функционирования ВС [2], [7]. Стохастические модели приводят к простым расчетным формулам для координат вектор-функции $\Gamma(t)$ и $D(t)$, соответственно расходов и доходов. Традиционный подход, базирующийся на марковских процессах с доходами, при тех же результатах является более трудоемким [8], [9]. В работах [1], [2] приводятся формулы расчета, в них не учитывается стоимость эксплуатации сети связей и учет времени реконфигурации структуры ВС после сбоев. Требуется решить следующую задачу: дана распределенная ВС из N элементарных машин и восстанавливающая система из m устройств, требуется рассчитать затраты и доход, которые последуют в процессе эксплуатации вычислительной системы.

Пусть λ и μ – интенсивности соответственно потока отказов в одной элементарной машине (далее ЭМ) и восстановления отказавших ЭМ одним ВУ; c_1 и c_2 – стоимости соответственно эксплуатации одной ЭМ и содержания одного ВУ в единицу времени; $K_i(t)$ – математическое ожидание исправных ЭМ в ВС, $M_i(t)$ – математическое ожидание занятых ВУ в восстанавливающей системе, в момент времени $t \geq 0$ при условии, что $K_i(0) = i$, $i \in E = \{0, 1, 2, \ldots, N\}$. Считается, что если ВС находится в состоянии $j \in E$, то имеется j исправных ЭМ. Время реконфигурации системы обозначим через v^{-1}. Тогда для координат вектор-функции стоимости $\Gamma_i(t)$ справедливы следующие уравнения [2]:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d}{dt}\Gamma_i(t) = c_1[N - K_i(t)] + c_2[m - M_i(t)], \\ &\Gamma_i(0) = 0,\ i \in E. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Решение системы (1) представляется функциями:

$$\Gamma_i(t) = -\beta_i + \gamma t + \beta_i \delta(t),$$

где при условии высокой производительности системы $N\lambda \leq m(\lambda + \mu)$

$$\beta_i = \frac{i\lambda - (N-i)\mu}{(\lambda+\mu)^2}(c_1 - c_2),\ \gamma = \frac{N\lambda}{\lambda+\mu}(c_1 - c_2) + mc_2,\ \delta(t) = e^{-(\lambda+\mu)t},\ i \in E^1,$$

а при $N\lambda > m(\lambda + \mu)$

$$\beta_i = \frac{i\lambda - m\mu}{\lambda^2}c_1,\ \gamma = \frac{N\lambda - m\mu}{\lambda}c_1,\ \delta(t) = e^{-\lambda t},\ i \in E^2,$$

где $E^1 = (N - m, N - m+1, ..., N)$, $E^2 = (0, 1, ..., N - m - 1)$.

Пусть v^{-1} – время реконфигурации системы [1]. Тогда для вектор-функции $\Gamma(t)$ решение системы уравнений (1) в стационарном режиме запишется в следующем виде

$$\Gamma_i(t) = \lambda t.$$

Это объясняется тем, что для больших t справедливо $\beta \ll \gamma t$ и $\delta(t) \to 0$.

Величины γ определяются следующим образом.

При $N\lambda \le m\mu$

$$\gamma = \frac{(c_1 - c_2)}{\lambda\mu + \lambda\nu + \mu\nu}N\lambda\nu + c_2 m,$$

при $N\lambda > m\mu$

$$\gamma = c_1\left[N - m\mu\left(\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\nu}\right)\right].$$

Для координат вектор-функции стоимости $D_i(t)$ справедливы следующие уравнения:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d}{dt}D_i(t) = c_1K_i(t) - c_2^{'}m - c_3\mu M_i(t) - c_4N, \\ &D_i(0) = 0, i \in E. \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Здесь $c_2^{'}$ – себестоимость содержания восстанавливающего устройства в единицу времени, c_3 – стоимость запасных деталей, расходуемых при однократном восстановлении отказавшей ЭМ, c_4 – постоянные издержки, возникающие при эксплуатации ЭМ в единицу времени.

Решением системы (2) будут функции

$$D_i(t) = D_i + gt - D_i\delta(t),$$

где при $N\lambda \le m(\lambda + \mu)$

$$D_i(t) = \frac{i\lambda - (N-i)\mu}{(\lambda+\mu)^2}(c_1 + c_3\mu), \quad i \in E^1, \quad g = \frac{N\mu}{\lambda+\mu}(c_1 - c_3\lambda) - (c_2^{'}m + c_4N),$$

а при $N\lambda > m(\lambda + \mu)$

$$D_i(t) = \frac{i\lambda - (N-i)\mu}{(\lambda+\mu)^2}(c_1 - c_2), \quad i \in E^2, \quad g = \frac{m\lambda}{\mu}(c_1 - c_3\lambda) - (c_2^{'}m + c_4N).$$

Рассмотрим, что представляет вектор-функция дохода $D_i(t)$ с учетом показателя v^{-1} – время реконфигурации системы и величины c_5, характеризующей стоимость пересылки данных по каналам связи. Вектор-функция $D_i(t)$ описывается следующим образом [2]:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d}{dt}D_i(t) = c_1K_i(t) - c_2m - c_3\mu M_i(t) - c_4N - c_5, \\ &D_i(0) = 0,\ i \in E. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Решением системы уравнений (3) в стационарном режиме для вектор-функции дохода будут функции

$$D_i(t) = gt,$$

где при $N\lambda \le m\mu$

$$g = \frac{N\mu}{\lambda\nu + \lambda\mu + \mu\nu}\left(c_1(\nu+\mu) - c_3\nu\lambda\right) - \left(c_2 m + c_4 N + c_5\right),$$

при $N\lambda > m\mu$

$$g = c_1 m\mu\left(\frac{\lambda+\nu}{\lambda\nu}\right) - \left(c_2 m + c_3 m\mu + c_4 N + c_5\right).$$

Пример. Рассмотрим распределенную кластерную вычислительную систему, состоящую из N = 1024 ЭМ. Как показывает практика, отказы элементарных машин случаются раз в три-четыре года, поэтому интенсивность потока отказов в данном случае положим λ = 0,00002 1/ч. Время на устранение неполадок отказавшей ЭМ занимает порядка 10 минут, поэтому μ = 5 1/ч. В начальный момент времени количество исправных ЭМ i = 1000. Время, которое требуется на реконфигурацию данной системы, – 1 – 2 минуты, поэтому ν = 30 1/ч. Восстанавливающее устройство m = = 1, показатели стоимости c_i положим c_1 = 20 руб/ч, c_2 = 2 руб/ч, c_2' = 1 руб/ч, c_3 = 500 руб, c_4 = 5 руб/ч, c_5 = 3 руб/ч. На рис. 1 приведены графики вектор-функций доходов и расходов, из которого видно, что с течением времени доходы существенно превышают эксплуатационные расходы ВС.

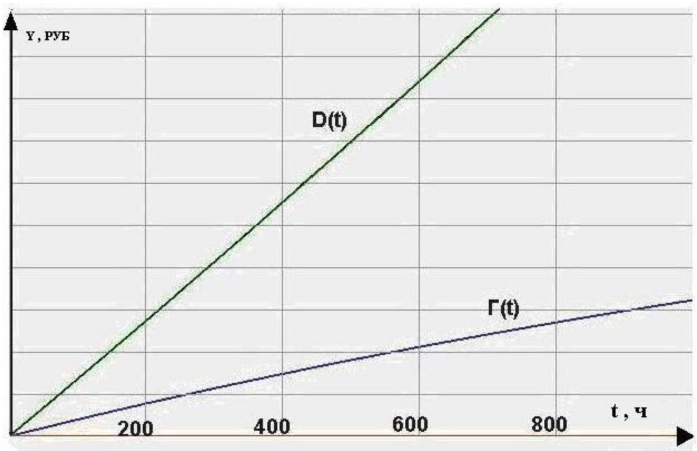


Рисунок 1 – Пример поведения вектор-функций $\Gamma(t)$ и $D(t)$

Заключение

Получены формулы для расчета вектор-функций *Г(t)* и *D(t)*, учитывающие стоимость эксплуатации сети связей и времени реконфигурации ВС после сбоев. Рассчитаны показатели технико-экономической эффективности функционирования вычислительных систем как ансамблей элементарных машин. Показатели устанавливают взаимосвязь между надёжностью и стоимостью ВС и позволяют анализировать работу систем в условиях и переходного, и стационарного режимов. Полученные формулы вполне удовлетворяют требованиям практики, они просты и позволяют производить экспресс-анализ ВС с произвольным числом машин без применения средств вычислительной техники.

Результаты данной работы применимы к другим вычислительным средам и средствам обработки информации. Они будут полезны при организации работ на вычислительных центрах, эксплуатирующих группы одинаковых машин и кластерные ВС, при планировании и составлении статистики по работе вычислительных систем.

Литература

1. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем / Хорошевский В.Г. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
2. Евреинов Э.В. Однородные вычислительные системы / Э.В. Евреинов, В.Г. Хорошевский. – Новосибирск : Наука, 1978.
3. Лопато Г.П. Исследование производительности и технико-экономической эффективности универсальной ЭВМ ЕС-1020 / Г.П. Лопато // Алгоритмы и организация решения экономических задач. – М. : Статистика, 1973. – Вып. 2.
4. Васюкович Ю.В. Некоторые методические вопросы технико-экономической оценки ЭВМ / Ю.В. Васюкович // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 1972. – Вып. 1.
5. Page H. What Price PC? / H. Page // Entrepreneur, 1997.
6. Smith S. The Smart Way to Invest in Computers / S. Smith // Journal of Accountancy. – 1997. – May.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций / Вентцель Е.С. – М. : Сов. радио, 1972.
8. Хорошевский В.Г. Расчет технико-экономических показателей однородных вычислительных систем высокой производительности / В.Г. Хорошевский, Э.Г. Хорошевская, Т.М. Голоскокова // Вычислительные системы. – 1970. – Вып. 39.
9. Ховард Р.А. Динамическое программирование и марковские процессы / Ховард Р.А. – М. : Сов. радио, 1964.
10. Хорошевский В.Г. Инженерный анализ функционирования вычислительных машин и систем / Хорошевский В.Г. – М. : Радио и связь, 1987.
11. Хорошевский В.Г. Некоторые вопросы стоимости однородных универсальных вычислительных систем / В.Г. Хорошевский // Вычислительные системы. – 1968. – Вып. 31.

В.Г. Хорошевський, Д.С. Нікітін

Розрахунок вектор-функції прибутку та витрати для великомасштабних розподілених обчислювальних систем

Сучасний інструментарій високопродуктивної обробки інформації – це розподілені обчислювальні системи (ОС), що об’єднують велику кількість процесорів (більше 1 000 000). Експлуатація подібних систем неминуче пов’язана з фінансовими витратами. У даній роботі розглянутий континуальний підхід до розрахунку техніко-економічних показників функціонування розподілених ОС (функцій прибутку і витрати) в стаціонарному і перехідному режимах. Відмітними особливостями роботи є введення коефіцієнта вартості експлуатації мережі зв’язку і облік часу реконфігурації структури ОС після збоїв.

V.G. Khoroshevsky, D.S. Nikitin

Calculation of the Vector-Function of the Income and the Expense for the Large Scale Distributed Computer Systems

Modern tools for information processing are distributed computer systems (CS) of high performance, they are MPP-systems and contain high number of processors (up to 1 000000). The exploitation of such systems is always connected with financial expenditures. The project contains examination of a continuous method of calculation of technical and economic indices of functioning distributed CS (income and expenditure functions) in stationary and transient condition. The distinctive features of the project are introduction of network exploitation costs coefficient and consideration of time for CS structure reconfiguration after breakdowns.

Статья поступила в редакцию 01.06.2009.